Zur Wurzelanatomie unserer Alpenpflanzen

I. Primulaceae

Von Maria Luhan

Aus dem Pflanzenphysiologischen Institut der Universität Wien

Mit 10 Textabbildungen

Gedruckt aus Mitteln des Vereins der Freunde der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Wien

(Vorgelegt in der Sitzung am 21. Juni 1951)

Einleitung.

Es ist eine dankbare und zugleich eine schöne Aufgabe, die vielgestaltete Pflanzenwelt unserer Berge in Anpassung an die alpinen Verhältnisse zu erforschen, sei es die Anpassung durch Veränderung ihrer äußeren Gestalt, ihres inneren Baues oder ihrer physiologischen Eigenschaften. Daher sind die Alpenpflanzen auch schon seit langem zum Gegenstand eingehender Untersuchungen geworden, durch die wir heute in vieler Hinsicht klaren Einblick in ihren Bau und ihre Lebensweise gewonnen haben.

Um die Einwirkung des alpinen Klimas auf die Pflanzen exakt studieren zu können, sind Kulturversuche von größter Bedeutung, wie sie zuerst Kerner (1869) und vor allem Bonnier (1879 bis 1920[1]) durchgeführt haben; beide sind im wesentlichen zu gleichen Ergebnissen gelangt. Es zeigte sich nämlich, daß das Höhenklima an den Ebenenpflanzen gewisse Veränderungen hervorruft, durch welche die Pflanzen einen „alpinen" Habitus erhalten: so werden unter anderen die oberirdischen Achsen kürzer, der Wuchs vielfach polsterförmig, die Blätter kleiner, dicker, stärker behaart, chlorophyllreicher, die Blüten relativ größer und intensiver gefärbt und die unterirdischen Organe stärker ausgebildet. Auch die Versuche

[1] Die einzelnen Literaturzitate aus diesen Jahren gibt Schimper-Faber (1935, S. 1297).

von Senn (1922, 1925, 1932) wären hier anzuschließen, die sich aber mehr auf physiologische Fragen beziehen. Dabei ist es nicht der Höhenunterschied an sich, sondern der Unterschied in den Wasser-, Licht-, Boden- und Temperaturverhältnissen, der sich hier auswirkt. Eine umfassende Darstellung all der Fragen, die das Leben der Pflanzen in den Alpen betreffen, finden wir bei Schroeter (1926).

In der Mehrzahl der vorliegenden Untersuchungen sind jedoch in erster Linie die oberirdischen Pflanzenteile berücksichtigt und die Erdstämme und Wurzeln weniger ausführlich behandelt, besonders was die Anatomie dieser Teile betrifft. Wir finden in der Literatur kaum eine zusammenfassende Darstellung, in der vom modernen soziologischen Gesichtspunkt die anatomischen Wurzeltypen der Alpenpflanzen verglichen wären. Und dabei ist gerade für die Alpenpflanzen das unterirdische System von besonderer Wichtigkeit, da ihm infolge der starken mechanischen Beanspruchung, den meist kargen Ernährungsverhältnissen und der verkürzten Vegetationsperiode der alpinen Regionen erhöhte Bedeutung zukommt.

Die Wurzeln haben bekanntlich die Aufgabe, die Pflanze im Substrat zu befestigen sowie Wasser und Nährstoffe aufzunehmen und weiterzuleiten; häufig dienen sie auch der Reservestoffspeicherung. Durch diese Verschiedenheit der Funktion kann ihnen schon rein äußerlich verschiedene Gestalt zukommen, welche weiterhin durch die unterschiedliche physikalische und chemische Beschaffenheit des Bodens und nicht zuletzt durch die Wuchsform der Pflanze beeinflußt wird. Denn es ist nicht gleichgültig, ob die Keimwurzel dauernd erhalten bleibt und allein zum ganzen Wurzelsystem der Pflanze heranwächst oder ob sich zusätzlich oder — nach Zugrundegehen der Hauptwurzel — ausschließlich aus dem Sproß Wurzeln (sproßbürtige Wurzeln, Adventivwurzeln, Beiwurzeln) bilden. Immer wird die Gestalt eine andere sein. Diese morphologische Mannigfaltigkeit des Wurzelsystems hat erstmalig Freidenfelt (1902) zusammengestellt und in zahlreiche Typen einzuordnen versucht; er gibt auch eine sehr vollständige Literaturliste der früheren Arbeiten. Später hat sich noch Weber (1937) mit der sproßbürtigen Bewurzelung eingehend befaßt, doch wird es, wie Rauh (1937, S. 402) sagt, erst dann möglich sein, ein zufriedenstellendes morphologisches Wuchsformensystem aufzustellen, wenn alle Pflanzen einer exakten Wuchsformanalyse unterworfen sein werden.

Was die Wurzelmorphologie der Alpenpflanzen betrifft, so zeigt sich eine Trennung in Fels- und in Geröllpflanzen; über erstere finden sich Angaben bei Oettli (1904) und Wetter (1918), letztere hat Hess (1910) genau studiert. Hess schließt sich in

der Terminologie den Wurzeltypen Freidenfelts an; eine genaue Beschreibung der Wuchsform der häufigsten alpinen Geröllpflanzen nimmt den Hauptteil seiner inhaltsreichen Arbeit ein. Auch die mehr phytosoziologischen Untersuchungen von Jenny-Lips (1930) bringen Angaben über Morphologie und vereinzelt auch über die Anatomie der Pflanzen auf Felsschutt.

Der Vielfalt der äußeren Gestalt entspricht aber auch eine des inneren Baues. Hier wird sich vor allem die verschiedene Funktion der Wurzel entweder in einer stärkeren Ausbildung des mechanischen Gewebes, der Rhizodermis mit ihren Haaren, des Gefäßsystems oder — im Falle der Speicherfunktion — des Rindengewebes auswirken. Eine weitere Kompliziertheit im anatomischen Bau ergibt sich dadurch, daß bei den meisten Pflanzen die ursprünglich primäre Wurzel durch das sekundäre Dickenwachstum stark verändert wird. Von Guttenberg hat 1940 für den primären Wurzelbau eine so ausführliche Darstellung gegeben, daß ich auch bezüglich der älteren Literatur darauf verweisen möchte. Für die sekundär veränderte Wurzel gibt es keine ähnliche Zusammenfassung.

Von den Umweltsfaktoren übt zweifellos das Wasser den größten Einfluß auf die Wurzelorganisation aus. Ich erwähne von der zahlreichen einschlägigen Literatur nur Perseke (1877), Mer (1879/80), Schwarz (1883), Costantin (1885) und Freidenfelt (1904). Manche dieser Arbeiten enthalten gleichzeitig Beobachtungen über den Einfluß der Luft auf die Erdwurzel; diese zeigt (Freidenfelt 1902, S. 119) um so größere Entwicklung und Wurzelhaarbildung, je reicher die Bodenart an Luft ist. Die Angaben über den Einfluß der Temperatur auf den Wurzelbau sind sehr spärlich: Diels (1918) beschreibt für westaustralische Pflanzen und Faber (1925) für javanische Solfatarenpflanzen die Bildung von Wurzelkork als Schutz gegen zu starke Bodenerwärmung. Das Licht spielt für die Bodenwurzel wohl höchstens indirekt eine Rolle, indem durch Wachstumshemmung der oberirdischen Teile die große Menge organischer Substanzen der Wurzel zugute kommen soll (Senn 1925, S. 146). Über die chemische Natur des Bodens und ihren Zusammenhang mit der Wurzelbildung gibt es wieder zahlreichere Literatur, sowohl was den Einfluß des Nährstoffreichtums überhaupt als auch den einzelner Nährstoffe betrifft, doch beziehen sich alle Beobachtungen nur auf die äußere Gestalt.

Es steht nun bei den folgenden Untersuchungen zur Frage, wieweit der Bau der Wurzel von der systematischen Stellung der Pflanze und wieweit er von den durch Boden und Klima gegebenen Milieufaktoren abhängt. Ich habe mich mehrere Jahre mit der

Wurzelanatomie unserer Alpenpflanzen beschäftigt, und zwar vor allem während zweier Arbeitsaufenthalte am Arlberg (August 1948 und 1949) und 1950 am Hannoverhaus bei Mallnitz[2]. Einige Bodenproben wurden nachträglich von Herrn Ing. Schiller, Linz, auf Kalk, Phosphor, Kalium und Humusgehalt geprüft.

In der folgenden Mitteilung will ich meine bisherigen Beobachtungen an Primulaceen zusammenstellen. Weitere Mitteilungen, nach systematischen Familien geteilt, sollen folgen.

I. Primulaceae.

In der alpinen Flora ist die Familie der Primulaceen vor allem durch die Gattungen *Primula, Androsace* und *Soldanella* vertreten. Es wurden daher auch nur Pflanzen aus diesen drei Gruppen untersucht, und zwar, wo es infolge vorhandenen Materials möglich war, neben den alpinen Exemplaren vergleichsweise auch solche der Ebene. Für die Systematik der Primulaceen war in erster Linie Pax und Knuth (1905) maßgebend; Angaben über die Anatomie der Primärwurzel finden sich bei Kamieński (1878), Decrock (1901) und, allerdings nur kurz und verallgemeinernd, bei Metcalfe and Chalk (1950).

Alle *Primula*-Arten unserer Alpen sind ausdauernde Pflanzen mit bodenständiger Blattrosette und einem meist kräftigen Wurzelstock. Dieser verlängert sich mit dem jährlichen Zuwachs der Sproßglieder nach oben, während er von unten her langsam abstirbt. Daß nun durch diesen jährlichen Zuwachs die Blattrosette im Laufe der Jahre nicht vom Boden gehoben wird, sondern immer an gleicher Stelle bleibt, erklärt Kerner von Marilaun (1887) daraus, daß sich die Wurzeln nach beendetem Längenwachstum verkürzen und so das betreffende Stammstück in die Tiefe ziehen (vgl. auch de Vries 1880). Diese Erscheinung der Wurzelkontraktion kommt aber nicht nur bei Primeln vor, sondern ist, wie Rimbach (1929) in einer zusammenfassenden Darstellung zeigen konnte, im Pflanzenreich sehr verbreitet.

Die Länge des Wurzelstockes ist bei den einzelnen Arten recht verschieden, sie schwankt von einem Jahresglied bei *Primula farinosa* bis zu vielen (z. B. *Primula Auricula*); die größte Zahl der Glieder dürfte zehn betragen (Widmer 1891). Aus diesem unter-

[2] Über die im Arlberggebiet vorkommenden Pflanzen, über Klima und Gesteinsbeschaffenheit dieser Gegend finden sich bei Schwimmer (1929) genauere Angaben, über die Vegetationsverhältnisse der Umgebung von Mallnitz siehe auch Hackel (1868).

irdischen Stamm treten die Wurzeln aus, die einander meist in der äußeren Gestalt gleichen, von Art zu Art jedoch in ihrer Dicke, Länge, Verzweigung und Anzahl stark variieren können. Eine solche Bewurzelungsart, bei der nach frühzeitigem Zugrundegehen der Primärwurzel das Wurzelsystem nur aus stammbürtigen Beiwurzeln besteht, bezeichnet man seit Goebel (1930) als homorrhiz, während man im Gegensatz dazu unter allorrhizer Bewurzelung die Ausbildung eines Hauptwurzelsystems aus der dauernd erhalten bleibenden Primärwurzel versteht.

Zunächst sollen die Beiwurzeln nachstehender alpiner Primelarten an Quer- und vielfach auch an Längsschnitten beschrieben werden: *Primula minima* L., *Primula Auricula* L., *Primula hirsuta* All., *Primula Clusiana* Tausch., *Primula glutinosa* Wulf., *Primula farinosa* L. und *Primula longiflora* All.; weiters die aus der Umgebung Wiens gesammelten Arten *Primula acaulis* (L.) Hill., *Primula elatior* (L.) Schreber. und *Primula officinalis* (L.) Hill. Die Wurzeln wurden, wo nicht anders erwähnt, durch den basalen Teil unweit der Ansatzstelle am Rhizom geschnitten, um sie in fertig entwickeltem Zustand miteinander vergleichen zu können.

Primula minima L.

Die Pflanzen sind an den Hängen der Grauleitenspitze in ziemlich trockenem Feinschutt gewachsen und wurden im August 1950 gesammelt. — Die „kleinste Primel" kommt auf kalkarmen Böden der alpinen Höhenstufe, mit Vorliebe auf flachen Böden und kleinen Mulden vor; sie mischt sich auch der Schneetälchenflora bei[3].

Ein Querschnitt von 0,65 mm Durchmesser zeigt folgenden Bau der Wurzel: Die Rhizodermis ist trotz der großen Entfernung des Schnittes von der Wurzelspitze noch vollständig erhalten und mit zahlreichen Haaren versehen. Ihre Zellen sind groß, im allgemeinen dünnwandig, nur an den äußeren Tangentialwänden leicht verdickt (Abb. 1). Nach innen zu schließt ohne Interzellularen die Exodermis an; sie besteht aus zweierlei Zellen, nämlich den typischen Exodermiszellen, die langgestreckt sind und allseitig eine Korklamelle besitzen, und den viel kürzeren, in der Regel unverkorkten Durchlaßzellen. Schon v. Höhnel (1877) hat sie, und zwar zuerst an Luftwurzelexodermen, als Langzellen und Kurzzellen bezeichnet. Kroemer, der 1903 die erste zusammenfassende und grundlegende Darstellung der Wurzelhaut, Hypodermis und Endodermis

[3] Die Bemerkungen über das allgemeine Vorkommen der einzelnen Pflanzen sind Schroeter (1926) oder Hegi (1931) entnommen.

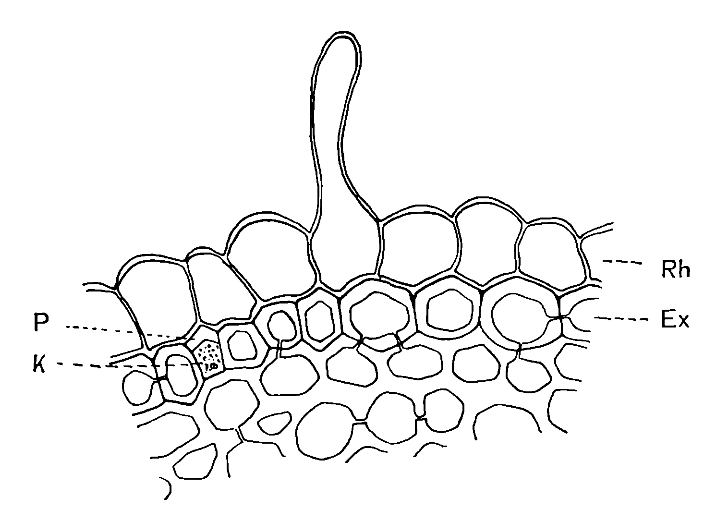


Abb. 1. *Primula minima.* Teil eines Wurzelquerschnittes.
Rh = Rhizodermis, Ex = Exodermis, K = Kurzzelle, P = Polster.

der Angiospermenwurzel gegeben hat, nennt die beiden Zellarten „Endodermzellen“ und „Kurzzellen“ und eine aus ihnen aufgebaute Hypodermis „Kurzzellen-Interkutis“ (l. c., S. 32). Ein tangentialer oder radialer Längsschnitt zeigt am besten die Gestalt und Anordnung der Exodermiszellen und den beträchtlichen Längenunterschied beider Zelltypen (Abb. 2); auch sieht man nur

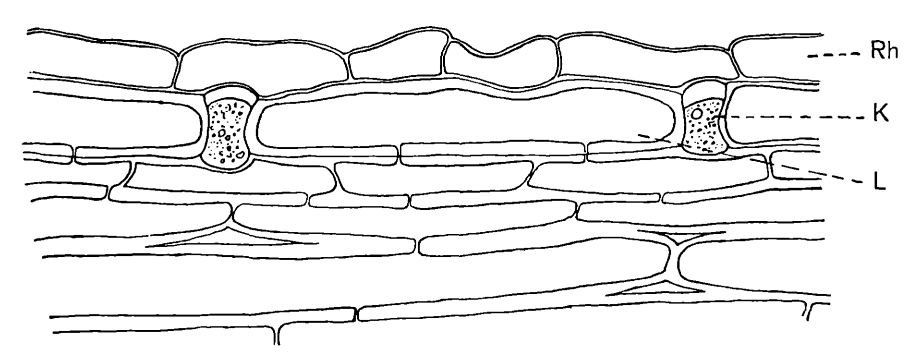


Abb. 2. *Primula minima.* Teil eines radialen Wurzellängsschnittes.
Rh = Rhizodermis, K = Kurzzelle, L = Langzelle.

an einem tangentialen Längsschnitt die Wellung der exodermalen Korklamelle, welche auf die Längswände beschränkt ist (vgl. Rimbach 1893). Die gewöhnlichen Exodermiszellen von *Primula minima* haben außerdem eine starke, von Tüpfeln durchquerte tertiäre Verdickungsschicht, die, der Suberinlamelle innen angelagert, weder verholzt noch verkorkt ist und nach Kroemer (1903, S. 49) in der Hauptsache aus Kohlehydraten besteht. De Bary (1877, S. 132) nennt diese Verdickungsmasse bei *Primula Auricula* knorpelig-gelatinöse Zellulose, und auch v. Guttenberg (1943, S. 11) beschreibt sie als Zelluloseschicht der Exodermis. Die Durchlaßzellen sind im Jugendstadium nicht verkorkt. Für alternde Zellen jedoch ist das Fehlen der Verkorkung kein sicheres Unterscheidungsmerkmal der Kurzzellen mehr, da diese im Alter ebenfalls eine Suberinlamelle anlegen können. An ihrer äußeren Tangentialwand besitzen die Kurzzellen von *Primula minima* eine kappenartige Verdickung (Abb. 1, P). Mit dieser eigenartigen Verdickung der Kurzzellenaußenwand, die schon früher gesehen und vereinzelt beschrieben wurde, hat sich Francke (1927) bei den Asclepiadaceen eingehend beschäftigt; er nennt sie „Polster". — Das Rindenparenchym ist zwölf Reihen breit, die Zellen sind im Querschnitt fast durchwegs kreisrund, stark verdickt und mit deutlichen Tüpfeln versehen. Sie enthalten, wie auch die Rindenparenchymzellen der folgenden Primelwurzeln, viel Stärke. Durch die besonders im inneren Teil der Rinde radiäre Lage der in konzentrischen Reihen angeordneten Rindenzellen haben sich in großer Zahl regelmäßige viereckige Interzellularen gebildet, die nach außen zu, bei unregelmäßigerer Zellagerung, dreieckig werden, bis zur äußersten Rindenparenchymreihe, die lückenlos an die Exodermis anschließt. Alle Zellen der Endodermis sind von einer dünnen Suberinlamelle umgeben. Die tertiäre Verdickung ist besonders an den Radialwänden stark ausgebildet. Das Perikambium ist einreihig und ohne Wandverdickungen; es schließt sowohl nach außen wie nach innen interzellularenfrei an die benachbarten Zellen an. Das Xylem ist vierstrahlig, die einzelnen Strahlen stoßen in der Mitte fast ganz zusammen, so daß kein Raum für das Mark bleibt.

Primula Auricula L.

Das Material stammt von Kalkfelsen am Höhenweg Ulmer Hütte—Leutkircherhütte und von Kalkfelsen unterhalb des Kapallgipfels, gesammelt im August 1949. — Die Felsenaurikel wächst zahlreich in Ritzen kalkreicher Gesteine, auch im ruhenden Felsschutt und im Caricetum firmae. Sie ist mit derben Wurzeln („Kontraktionswurzeln", Kerner v. Marilaun 1887) im Boden verankert, die von einem kräftigen Rhizom entspringen.

Der Durchmesser der untersuchten Wurzel beträgt 1,34 mm. Die Rhizodermis ist dünnwandig und an vielen Zellen zu Haaren ausgewachsen. Die Exodermis zeigt wieder die Zusammensetzung aus Lang- und Kurzzellen. Die Langzellen sind gekennzeichnet

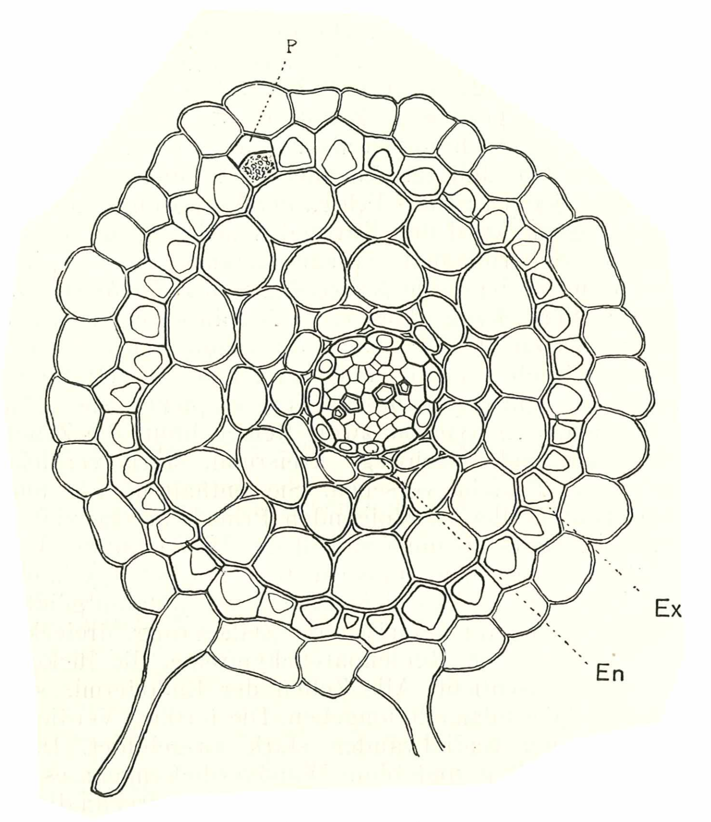


Abb. 3. *Primula Auricula.* Querschnitt durch eine junge Beiwurzel. En = Endodermis, Ex = Exodermis, P = Polster.

durch die ringsumgehende Suberinlamelle, dazu kommt — an den äußeren Tangential- und Radialwänden, nicht an den inneren Tangentialwänden — eine Kutinauflagerung, wodurch die Exodermiszellen ein epidermisähnliches Aussehen erhalten (v. Guttenberg 1943, S. 10). Innerhalb der Suberinlamelle ist die tertiäre Verdickungsschicht allseitig ungefähr in gleicher Breite ausgebildet

und mit Tüpfeln versehen. Die Kurzzellen sind an einem Querschnitt kaum von den übrigen Zellen zu unterscheiden. 16 bis 17 Rindenzellreihen schließen an, deren innere radialkonzentrisch angeordnet sind; diese Zellen haben nahezu kreisrunden Querschnitt und gleichmäßig stark verdickte Zellwände mit Tüpfeln. Nach der Peripherie zu wird die Verdickung der Zellwände etwas schwächer, die Zellen platten sich gegenseitig ab und die im inneren Rindenteil zahlreichen, regelmäßigen Interzellularen werden kleiner bzw. fehlen zwischen den äußersten 1—2 Reihen ganz. Große Stärkekörner finden sich in den Zellen der Rinde. Die überwiegende Mehrzahl der Endodermiszellen ist allseitig verkorkt und sehr stark tertiär verdickt. Nur wenige, regellos in der Endodermis angeordnete Zellen sind dünnwandig und durch Scheidewände in zwei Hälften geteilt. An einer solchen geteilten Zelle war merkwürdig, daß die eine Hälfte stark verdickt, die andere völlig unverdickt war. Das Perikambium ist einschichtig, das Gefäßbündel pentarch, jeder Xylemstrahl aus 3—5 kleinen Gefäßen bestehend. Das Mark setzt sich aus dünnwandigen Zellen zusammen.

Eine andere Wurzel von 1,42 mm Durchmesser zeigt bei sonst ähnlichem Bau eine größere Anzahl von Gefäßen, die das ganze Innere des Zentralzylinders ausfüllen und nur an den peripheren Strahlen noch den pentarchen Gefäßbündelbau erkennen lassen. Diesem Schnitt fehlt schon die Rhizodermis, so daß hier die Exodermis den Abschluß bildet.

An einer ganz jungen Wurzel mit einem Durchmesser von 0,20 mm (Abb. 3) ist das Xylem diarch, jeder Holzteil besteht aus zwei Gefäßen. Die Verdickung der Endodermiszellwände ist noch etwas schwächer und auch nicht an allen Zellen ausgebildet. Die Rinde umfaßt nur 2—3 Zellreihen, und dann folgen ohne Interzellularen die viel kleineren Zellen der Exodermis; sie sind verkorkt und weisen besonders an den Außenwänden starke tertiäre Verdickungen auf.

Dieser Querschnitt zeigt auch eine Kurzzelle mit ausgeprägter Kappenbildung (P.), die (Francke 1927, S. 25) bevorzugt bei xerophilen Formen auftreten soll. Die Zellen der Rhizodermis sind wieder größer und mit vereinzelten Haaren versehen.

Primula hirsuta All.

Verschiedene Exemplare wurden im August 1948 am Wirtsgipfel und Peischelkopf und im August 1949 auf Felsschutt am Galzig gesammelt. — Die Leimprimel kommt auf kalkarmen Felsen vor; in höheren Lagen gelegentlich auch auf kalkarmem Schutt, in Humuspolstern und in Rasen.

Von dem mit dunklen Blattresten bedeckten Wurzelstock entspringen, in einiger Entfernung von den untersten Blättern, zahlreiche kräftige, lange, mit vielen zarten Seitenwurzeln versehene Beiwurzeln.

Ein Querschnitt durch eine Wurzel von 1,45 mm Durchmesser zeigt eine noch vollständig erhaltene Rhizodermis mit zahlreichen

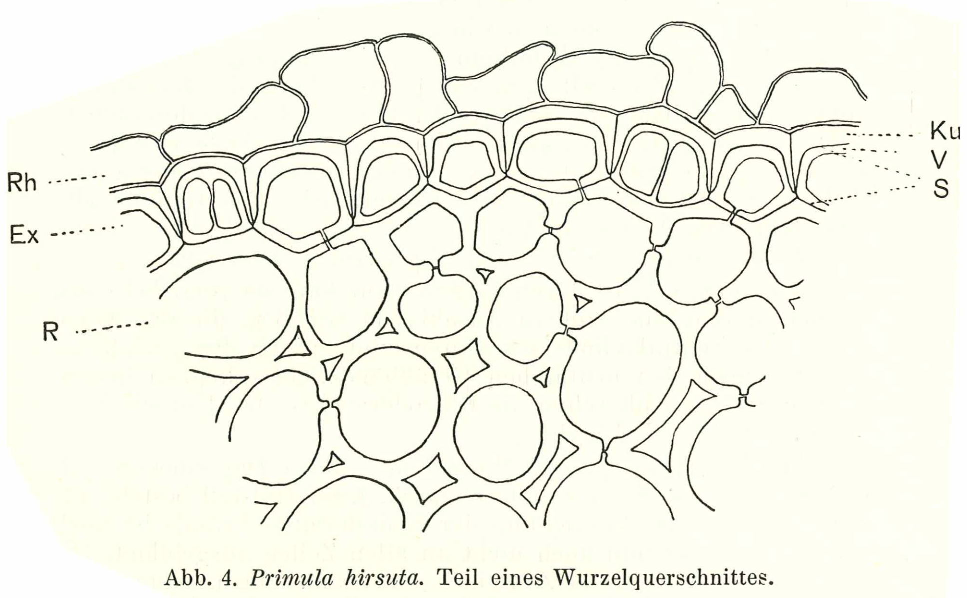


Abb. 4. *Primula hirsuta.* Teil eines Wurzelquerschnittes.

Rh = Rhizodermis, Ex = Exodermis, Ku = Kutinauflagerung, S = Suberinlamelle, V = tertiäre Verdickungsschicht, R = Rinde.

Haaren. Ihre Zellen haben ungefähr die gleiche Höhe wie die Zellen der Exodermis, die Zellwand ist dünn. Dagegen ist die Exodermis in der gewohnten Weise stark verdickt, allseitig verkorkt und an den Außen- und äußeren Radialwänden mit einer mächtigen Kutinauflagerung versehen (Abb. 4). Mit Sudan III ergibt sich für diese Kutinschicht wie für die Korkschicht die gleiche Rotfärbung. Die der Suberinlamelle nach innen zu in annähernd gleichmäßiger Dicke angelagerte tertiäre Verdickungsschicht teilt manche Exodermiszelle durch Bildung einer dünnen Scheidewand in zwei Teile.

In der Längsrichtung sind die Zellen in der Regel durch 1 bis 3 unverkorkte Scheidewände septiert (Abb. 5). Nur selten trifft man auf dem Längsschnitt eine auffallend kurze Zelle, die aber, ausgenommen der unterschiedlichen Länge und der mangelnden Septierung, im übrigen ganz den gewöhnlichen Exodermiszellen gleicht. Es dürfte sich wohl um eine Kurzzelle handeln, obwohl der

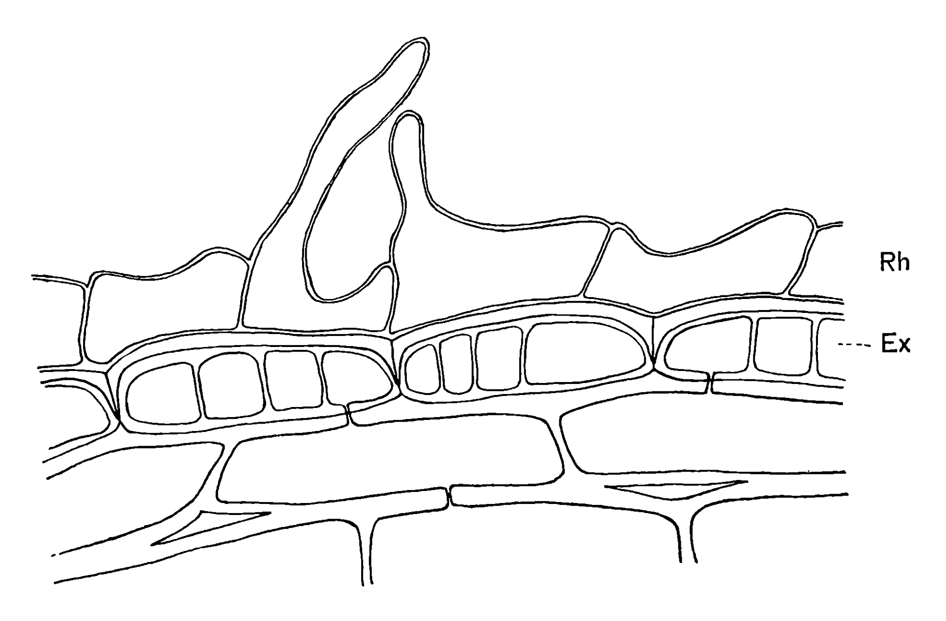


Abb. 5. *Primula hirsuta.* Teil eines Wurzellängsschnittes.

Rh = Rhizodermis, Ex = Exodermis mit tertiären Scheidewänden.

übrige Bau der Exodermis nicht einer typischen Kurzzellenexodermis entspricht. Die folgenden etwa 15 Zellreihen der Rinde sind stark verdickt und haben an den geringen Berührungsstellen der runden Zellen zwischen den Interzellularen deutliche Tüpfel. Die Endodermis besteht aus niederen, langgestreckten Zellen, deren Zellwand radial stark verdickt ist; nur wenige Zellen sind noch unverdickt, doch sind auch sie, wie alle übrigen Endodermiszellen, verkorkt. Die Xylemstrahlen des tetrarchen Gefäßbündels berühren sich in der Mitte. Es fehlt somit ein Mark.

Primula Clusiana Tausch.

Gesammelt im Juni 1951 auf feuchtem Kalkgeröll der Rax unterhalb des Ludwighauses. — Die Clusiusprimel wächst bevorzugt an feuchten Orten auf Kalk; sie ist ein Begleiter des *Carex firma* Rasens und der „Soldanellenflur“.

Die Wurzeln treten hier aus einem kurzen, mit dunklen Blattresten bedeckten Rhizom aus. Eine Wurzel von 0,78 mm Durch-

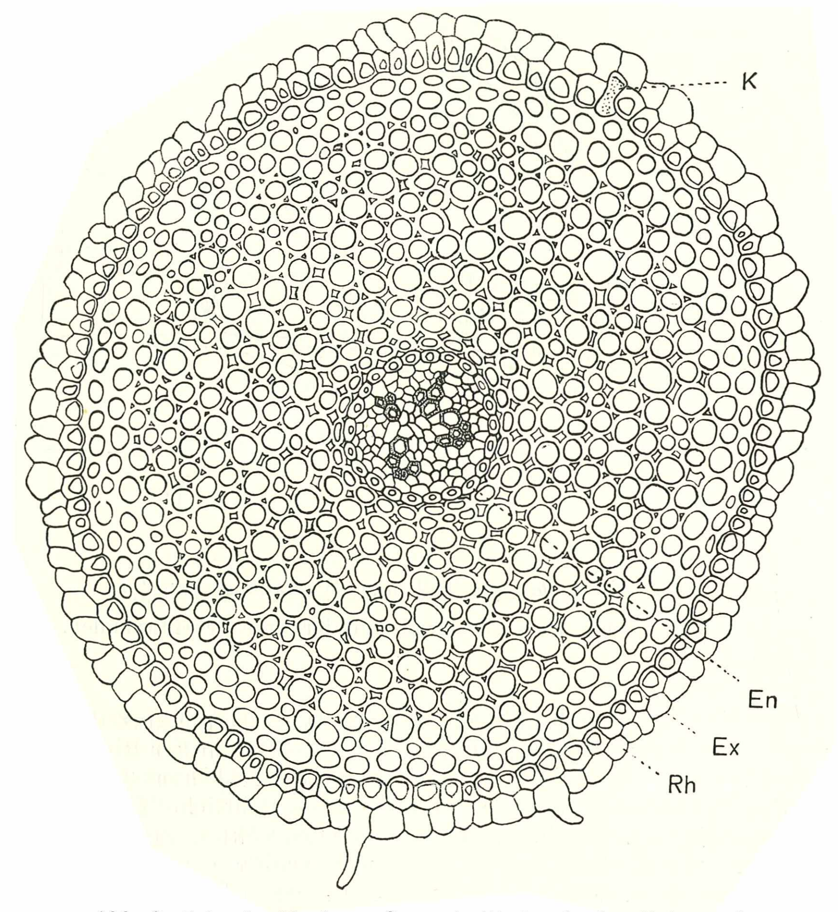


Abb. 6. *Primula Clusiana*. Querschnitt durch eine Beiwurzel.
En = Endodermis, Ex = Exodermis, Rh = Rhizodermis, K = Kurzzelle.

messer zeigt den in Abb. 6 dargestellten Querschnitt: Die Zellen der Rhizodermis sind durchschnittlich so hoch oder etwas höher als die der Exodermis, sie sind dünnwandig und nur in der Mitte der Außenwand kaum merklich verdickt. Vereinzelt sieht man noch Haare. In der Exodermis finden sich neben den gewöhnlichen Exodermiszellen mit Korklamelle und starker, besonders an den Außenwänden angelegter tertiärer Verdickung, die Kurzzellen, die außen eine schwache Kappenbildung besitzen, sonst aber unverdickt und mit totem Plasma erfüllt sind. Stark verdickt sind auch die folgenden Rindenparenchymzellen und — speziell an den Radialwänden — die Endodermis. Der Zentralzylinder ist tetrarch, das Mark besteht aus nur wenigen, dünnwandigen Parenchymzellen.

Wurzeln, welche von einem kräftigen und langen Wurzelstock einer älteren Pflanze entsprangen, zeigten bei einem Durchmesser von 1,77 mm außer der natürlich größeren Anzahl von Zellen im Prinzip denselben Bau. Nur der Zentralzylinder war heptarch, und das Mark bestand aus einer größeren Anzahl dünnwandiger Zellen.

Primula glutinosa Wulf.

Im August 1950 auf der Großelendscharte auf schneewassergetränktem Boden gesammelt. — Die „klebrige Primel" lebt auf mageren Almböden und Weiden, auf feuchtem, tonigem Felsgrus, auf meist kalkarmen, neutralen bis sauren Böden. Der Wurzelstock ist vielköpfig, der Wuchs deshalb oft dichtrasig.

An dem untersuchten Exemplar war der Wurzelstock noch nicht verzweigt, die Wurzeln waren sehr zart. Ein Querschnitt, 2 cm von der Ansatzstelle am Rhizom entfernt, hatte einen Durchmesser von 0,64 mm. Die Rhizodermis ist weitgehend erhalten, sie besteht aus schmalen, hohen Zellen — an manchen Schnitten waren sie doppelt so hoch wie die der Exodermis — mit etwas verdickten äußeren Zellwänden. Auch die Zellwand der Haare ist verhältnismäßig dick. Die Exodermis ist in Lang- und Kurzzellen differenziert. Letztere haben am Querschnitt die gleiche Größe wie die übrigen Exodermiszellen, unterscheiden sich jedoch auffällig von ihnen durch die bräunlichgelbe Färbung besonders der dicken Kappen an der äußeren Zellwand. Die Rindenzellen haben mäßig verdickte Wände und enthalten viel Stärke. Die Zellen der Endodermis besitzen, ausgenommen die Durchlaßzellen, ringsum eine Suberinlamelle und besonders an den Radialwänden stark ausgebildete tertiäre Verdickungsschichten. Das Gefäßbündel ist triarch, die wenigen Gefäße sind weitlumig und berühren sich fast in der Mitte.

Primula farinosa L.

Das Material wurde im August 1948 auf feuchtem Boden unterhalb des Walfagehrjoches gesammelt. — Die Mehlprimel ist die häufigste Primelart der Alpen. Sie ist ausdauernd und besitzt einen kurzen, kegelförmig nach abwärts gerichteten Wurzelstock, der nur aus einem Jahresglied besteht, „indem dasjenige des vorhergehenden Jahres regelmäßig abstirbt und verschwindet" (Widmer 1891, S. 9). Zur Anatomie der *Primula farinosa*-Wurzel vgl. auch Kamieński (1878), Decrock (1901) und Freidenfelt (1904).

An einem Querschnitt von 0,5 mm Durchmesser ist die Rhizodermis vollständig erhalten; ihre Zellen sind dünnwandig und in der Regel nur halb so hoch wie die der Exodermis. Haare fehlen. Häufig kann aber die Rhizodermis auch frühzeitig absterben, dann übernimmt die gut ausgebildete Exodermis den Abschluß und Schutz der übrigen Wurzel. Die Zellen der Exodermis haben meist sechseckigen Querschnitt, sind dünnwandig, allseitig verkorkt und in der Radialrichtung deutlich gestreckt. Vereinzelt liegen zwischen ihnen unverkorkte Kurzzellen, die an den rechtwinkelig geknickten Außenwänden gelbliche, kappenartige Verdickungen aufweisen. Wir können also auch hier von einer Kurzzellenexodermis sprechen, in der die Langzellen etwa zehnmal so lang wie die Kurzzellen sind. Kamieński (1878, S. 35) hat diese Differenzierung der Exodermiszellen noch nicht beobachtet, Freidenfelt (1904, S. 67) beschreibt sie zwar, nennt die Kurz- oder Durchlaßzellen jedoch Verstärkungszellen, welche Bezeichnung wohl kaum dem wirklichen Sinn dieser Zellen entspricht. Die Rinde besteht hier aus 9—10 Zellreihen; nur die innersten 2—3 sind radial-konzentrisch angeordnet, ihre Zellen sind regelmäßig, kreisförmig und schließen viereckige Interzellularen zwischen sich ein, der äußere Teil der Rinde ist durch mehrere große Lakunen gekennzeichnet und dadurch deutlich von der Rinde aller anderen untersuchten Primeln unterschieden. Die Wände der Rindenzellen, die nach Freidenfelt als kollenchymatisch verdickt beschrieben werden, sind an diesem Exemplar eher als dünnwandig zu bezeichnen. Die Endodermis besteht aus niedrigen, in tangentialer Richtung langgestreckten Zellen mit verkorkten und etwas verdickten Zellwänden und dazwischen unverkorkten Durchlaßzellen. Das Perikambium ist einschichtig, nach Kamieński (1878, S. 35) zwei- oder dreischichtig, das Gefäßbündel ist triarch, jeder Holzteil setzt sich aus zahlreichen Gefäßen zusammen, die nur durch wenige Parenchymzellen voneinander getrennt sind. Andere untersuchte Wurzeln hatten tetrarche oder pentarche Gefäßbündel. Nirgends jedoch fanden sich sklerenchymatische Elemente im Zentralzylinder.

Primula longiflora All.

Mitte Juli 1951 auf einer Almwiese unterhalb der Johannishütte bei Hinterbichl gesammelt. — Die „langröhrige Primel“ ist eine feuchtigkeitsliebende, subalpin-alpine Pflanze der Alpweide und des Wildheuerrasens auf kalkreichem Boden. Sie ist nahe verwandt mit *Primula farinosa*; sie hat wie diese Art einen kurzen, nach abwärts gerichteten Wurzelstock, der nur an seinem obersten, jüngsten Teil Wurzeln trägt, und zeigt auch im anatomischen Bau der Wurzel große Ähnlichkeit mit *Primula farinosa.*

Die untersuchte Wurzel hat einen Durchmesser von 1 mm. Die Rhizodermis trägt Haare, ihre Zellen sind viel niedriger als die in radialer Richtung gestreckten, dünnwandigen Exodermiszellen. Die vereinzelten Kurzzellen der Exodermis heben sich von den gewöhnlichen Zellen durch ihren — am alkoholfixierten Objekt — bräunlichen Zellinhalt deutlich ab. 1—2 anschließende Rindenzellreihen sind ganz schwach kollenchymatisch verdickt und vielfach durch dünne tangentiale Scheidewände geteilt, vor allem in der Nähe einer Kurzzelle. Die weiteren Rindenparenchymzellen sind zum Großteil kollabiert, legen sich mit den Zellwänden aneinander und lassen manchmal wie bei *Primula farinosa* größere Lakunen zwischen sich frei. Nur die 2—3 innersten Zellreihen sind unverändert. Die Endodermis ist etwas niedriger, verkorkt und nur an den Radialwänden verdickt, sonst dünnwandig. Das Xylem zeigt tetrarchen oder pentarchen Bau, die inneren, größerlumigen Gefäße stoßen in der Mitte fast zusammen.

Primula acaulis (L.) Hill.

Fundort; Waldlichtung bei Hütteldorf, in der Nähe eines Baches. — Der Wurzelstock ist mehrköpfig und ziemlich kräftig, die Wurzeln sind lang und wenig verzweigt.

Der Durchmesser der Wurzel beträgt 1,43 mm. Die Rhizodermis setzt sich aus dünnwandigen Zellen zusammen, von denen der Großteil zu kurzen Haaren verlängert ist. Die Exodermis ist als Kurzzellenexodermis ausgebildet. Ihre gewöhnlichen Zellen sind verkorkt, jedoch an den Außen- und Radialwänden ohne merkliche Auflagerung von Kutin. Die tertiären Verdickungen an der Innenseite der Suberinlamelle sind sehr gering. Die Kurzzellen sind an ihrer Innenseite schmäler als an der Außenseite, wo sie mit einer schwach ausgebildeten gelblichen Kappe an die Rhizodermis anschließen. Die gesamte Rinde hat mäßig verdickte Zellwände, die äußersten 3—4 Zellreihen sind interzellularenfrei, dann runden sich

die Zellen mehr ab, die Interzellularen werden größer und die innersten Reihen zeigen wieder radial-konzentrische Anordnung. Die Endodermis ist allseits verkorkt und an vielen Zellen durch eine unverkorkte Stützlamelle geteilt. Im übrigen ist die Verdickung der Endodermiswände im Gegensatz zu der der alpinen Formen sehr schwach und an allen Wänden annähernd gleichmäßig ausgebildet. Das Gefäßbündel ist pentarch, die einzelnen Gefäße verhältnismäßig groß. In der Mitte des Zentralzylinders liegt eine Gruppe von stark verdickten und verholzten mechanischen Zellen.

Primula elatior (L.) Schreber.

Fundort: Schattiger Wiesenrand auf der Hohen Mandling. — *Primula elatior* zeigt Vorliebe für Schattenhänge der Nordlage, während die folgende *Primula officinalis* bevorzugt an sonnigen und trockenen Standorten wächst. Der Wurzelstock ist kräftig, die Beiwurzeln zahlreich, sehr dick und nur wenig verzweigt.

Die Wurzel hat einen Durchmesser von 2,06 mm. Die Rhizodermiszellen sind dünnwandig und größtenteils zu Haaren ausgewachsen. Die Exodermis ist eine Kurzzellenexodermis, deren Langzellen schwach verkorkt und kaum merklich tertiär verdickt sind und deren Kurzzellen an der Außenwand eine mächtige gelbliche Kappe besitzen. Kamieński (1878) erwähnt in seiner Beschreibung und Abbildung der *Primula elatior*-Wurzel, wie auch sonst, die Exodermis noch nicht als eine von den übrigen Rindenzellreihen meist stark abweichend gebaute Zellschicht. Die Rinde besteht aus kleineren, aber sehr zahlreichen Zellen, die im Außenteil lückenlos aneinandergereiht, im Innenteil radial-konzentrisch angeordnet sind. Die Endodermis ist stark, aber an allen Wänden gleichmäßig verdickt, schwach verkorkt und häufig tertiär in zwei Hälften geteilt. Der Zentralzylinder zeigt beginnendes sekundäres Dickenwachstum, indem sich an der Innenseite des Phloems ein schwach entwickelte Kambium bildet, „welches einige wenige Holzgefäße und Bastelemente erzeugt, die sich an die primären anlegen“ (Kamieński 1878, S. 24). Auch vor den — im beschriebenen Fall acht — Xylemteilen treten vereinzelte kambiale Teiluugen auf. Das Mark besteht aus dünnwandigen Parenchymzellen und aus zwei Gruppen dickwandiger, verholzter mechanischer Elemente.

An einer jüngeren Wurzel (Durchmesser 1,82 mm) war das Mark noch frei von sklerenchymatischen Elementen.

Primula officinalis (L.) Hill.

Fundort: Sonnige Wiese am Frauenstein bei Mödling.

Die Wurzel hat einen Durchmesser von 1,43 mm. Die Rhizodermis ist vollständig erhalten, ihre Zellen sind von ungefähr gleicher Größe wie die der Exodermis; zahlreiche kurze Haare sind vorhanden. Die Exodermis ist eine Kurzzellenexodermis und im Bau der von *Primula acaulis* gleich; nur die tertiäre Verdickungsschicht ist noch schwächer ausgebildet, die Zellen erscheinen gegenüber den dickwandigen Rindenparenchymzellen nahezu unverdickt. Die Rinde läßt von einer radial-konzentrischen Anordnung im Inneren kaum mehr etwas erkennen. Die Zellen der Endodermis sind viel kleiner als die der anschließenden Rindenreihe, sie sind ringsum schwach verkorkt, etwas verdickt und meist tertiär in zwei Hälften geteilt. Der Zentralzylinder läßt wie bei *Primula elatior* leichten Ansatz zu einem sekundären Dickenwachstum erkennen, der hexarche Bau des Gefäßbündels ist aber noch deutlich erhalten. Das Mark hat keine sklerenchymatischen Elemente.

Ferner wurden Querschnitte durch die Wurzeln folgender Kulturformen, die ein Jahr im Versuchsgarten des Pflanzenphysiologischen Instituts im Augarten gezogen waren, zum Vergleich herangezogen: *Primula Florindae, Primula capitata, Primula pulverulenta* und *Primula Veitschii*. Sie stimmen alle in ihrem äußeren Bau weitgehend überein. Auch bei diesen Formen ist die Hauptwurzel schon frühzeitig zugrunde gegangen und Beiwurzeln haben die Ernährung und Befestigung der Pflanze übernommen.

Primula Florindae.

Ein Querschnitt von 1,57 mm Durchmesser zeigt welligen Umriß. Dieser kommt durch einige starke Einbuchtungen zustande, und an diesen eingebuchteten Stellen ist die Exodermis und vor allem die Rhizodermis niedriger. Diese beiden Zellreihen sind hier äußerst regelmäßig angeordnet und dünnwandig, wodurch sie sich von den nach innen anschließenden Rindenzellen deutlich abheben. Haare fehlen. Die Exodermis ist als Kurzzellenexodermis ausgebildet; ihre gewöhnlichen Zellen sind sechs-, selten fünfeckig, in radialer Richtung auffallend langgestreckt und verkorkt. Die Kurzzellen sind im Durchschnitt etwas schmäler und haben eine mäßig entwickelte gelbliche Kappe. Im Gegensatz zur Dünnwandigkeit der Rhizodermis und Exodermis heben sich die äußersten Zellreihen der Rinde, die mehr weniger stark kollenchymatisch verdickt sind,

stark ab; sie schließen lückenlos aneinander. Die übrigen Zellreihen der sehr mächtig ausgebildeten Rinde haben schwächere Wände, runden Querschnitt der Zellen und im Inneren radial-konzentrische Anordnung. Der primäre Entwicklungszustand der Endodermis ist noch erhalten und keine Suberinlamelle oder Zellwandverdickung ausgebildet. Das zentrale Gefäßbündel ist hexarch, jeder Xylemteil zählt nur ganz wenige Gefäße, und das ausgedehnte Mark im Zentrum besteht aus dünnwandigen Parenchymzellen.

Primula capitata.

Ein Querschnitt durch eine jüngere Wurzel, in 2 cm Entfernung von der Basis geschnitten, hat einen Durchmesser von 0,72 mm. Die Rhizodermis ist dünnwandig, die Exodermis — es handelt sich wieder um eine Kurzzellenexodermis — hat auffallend großlumige, ebenfalls dünnwandige und verkorkte Zellen (Abb. 7).

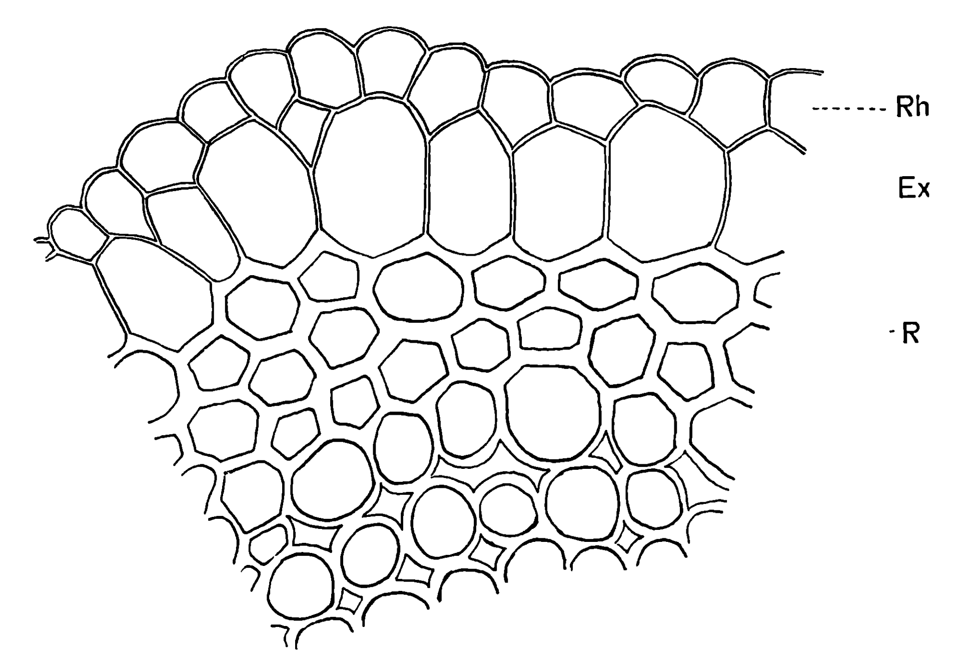


Abb. 7. *Primula capitata.* Teil eines Wurzelquerschnittes.
Rh = Rhizodermis, Ex = Exodermis, R = Rinde.

Die nach innen anschließenden Rindenzellen haben merklich verdickte Zellwände, ganz außen keine Interzellularen und innen radial-konzentrische Anordnung; sie sind viel kleiner als die Zellen der Exodermis. Die Endodermis ist mit Ausnahme weniger Durchlaßzellen verkorkt, aber nicht tertiär verdickt. Ein einreihiges Perikambium umgibt das hexarche Gefäßbündel, während die Mitte des Zentralzylinders von einem dünnwandigen Parenchym ausgefüllt wird.

An einer anderen, älteren Wurzel tritt der Unterschied zwischen der dünnwandigen Rhizodermis und Exodermis und den dickwandigen, hier gelblichen, viel kleineren Zellen der Rinde noch deutlicher hervor. Die Endodermis ist auch etwas verdickt und tertiär geteilt. Das Gefäßbündel beginnt sekundär in die Dicke zu wachsen: ein kambiales Gewebe ist an der Innenseite des Phloems deutlich, vor den Xylemstrahlen weniger gut ausgebildet.

Primula pulverulenta.

Ein Querschnitt von 1,0 mm Durchmesser zeigt die Rhizodermis normal ausgebildet, dünnwandig und hier ohne Haare. Die Exodermis ist der von *Primula capitata* ähnlich, sie ist großlumig, verkorkt und dünnwandig. Sie besteht aus Lang- und Kurzzellen. Unterhalb der Exodermis sind keine kollenchymatisch verdickten Zellen, die Rindenzellen sind vielmehr einheitlich dünnwandig. Die Endodermis ist zum Großteil primär, nur vereinzelte Zellen sind verkorkt, diese sind dann meist größer als die unverkorkten. Ein einreihiges Perikambium umgibt das hexarche Gefäßbündel, deren einzelne Xylemstrahlen, aus 3—4 Gefäßen bestehend, ein ziemlich ausgedehntes, dünnwandiges Mark einschließen.

Primula Veitschii.

Ein Querschnitt von 1,36 mm Durchmesser zeigt eine dünnwandige Rhizodermis, eine verkorkte, nicht verdickte Kurzzellenexodermis, eine in den äußersten Reihen kollenchymatisch verdickte Rinde und eine Endodermis, die verkorkt und größtenteils durch tertiäre Stützwände geteilt ist. Das Gefäßbündel ist tetrarch mit beginnender Kambiumbildung.

Die A n d r o s a c e - Arten sind nicht wie die Primeln durch den Besitz eines Wurzelstockes mit meist kräftigen Beiwurzeln gekennzeichnet; sie bilden vielmehr Polster mit starker Pfahl-

wurzel oder mehr weniger dichte Rasen mit verzweigter Grundachse und zarten, von den Rosetten ausgehenden Wurzeln. Untersucht wurden: *Androsace alpina* (L.) Lam., *Androsace Chamaejasme* Wulfen em. Host und *Androsace lactea* L.

Androsace alpina (L.) Lam.

Gesammelt im August 1950 auf feuchtem flachem Feinschutt in Nähe eines Schneefeldes auf dem Weg Hannoverhaus—Ankogel. — Der Alpenmannsschild bewohnt kalkarmen Gesteinsschutt: sowohl rieselnde Grushalden als ruhenden Feinschutt auf Fels, besonders aber flache, lange schneebedeckte Polsterböden. Die Pflanze ist mit einer gut ausgebildeten und meist stark verzweigten Pfahlwurzel im Boden verankert.

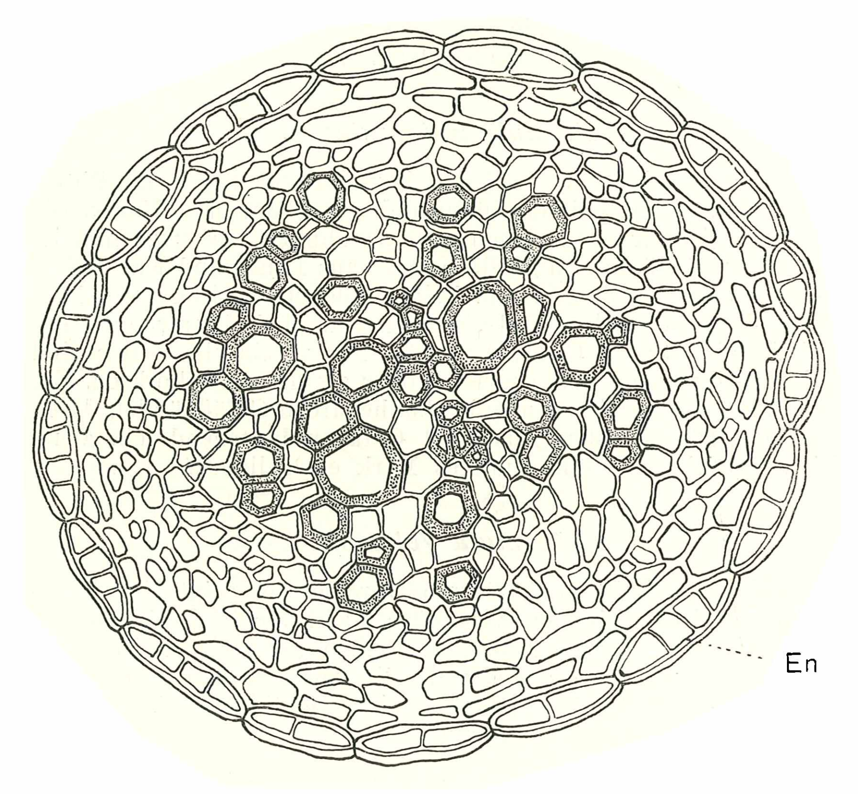


Abb. 8. *Androsace alpina.* Querschnitt durch eine Seitenwurzel.
En = Endodermis.

Nur die knapp hinter der Vegetationsspitze gelegenen Teile der Haupt- und auch der Seitenwurzeln sind noch im primären Entwicklungszustand, welcher im allgemeinen dem gewohnten Bau einer primären Wurzel entspricht. Solch eine ganz junge Seitenwurzel (0,084 mm Durchmesser) besitzt eine Rhizodermis mit dünnen Zellwänden und ohne Haare, eine dünnwandige Exodermis und eine ebensolche Endodermis; zwischen beiden liegt nur eine großzellige Rindenschicht. Das Xylem besteht aus drei hintereinandergereihten kleinen Gefäßen, welche den Zentralzylinder in der Mitte durchziehen.

Dieser primäre Bau der Wurzel wird aber bei *Androsace* schon in kürzester Entfernung von der Wurzelspitze durch das sekundäre

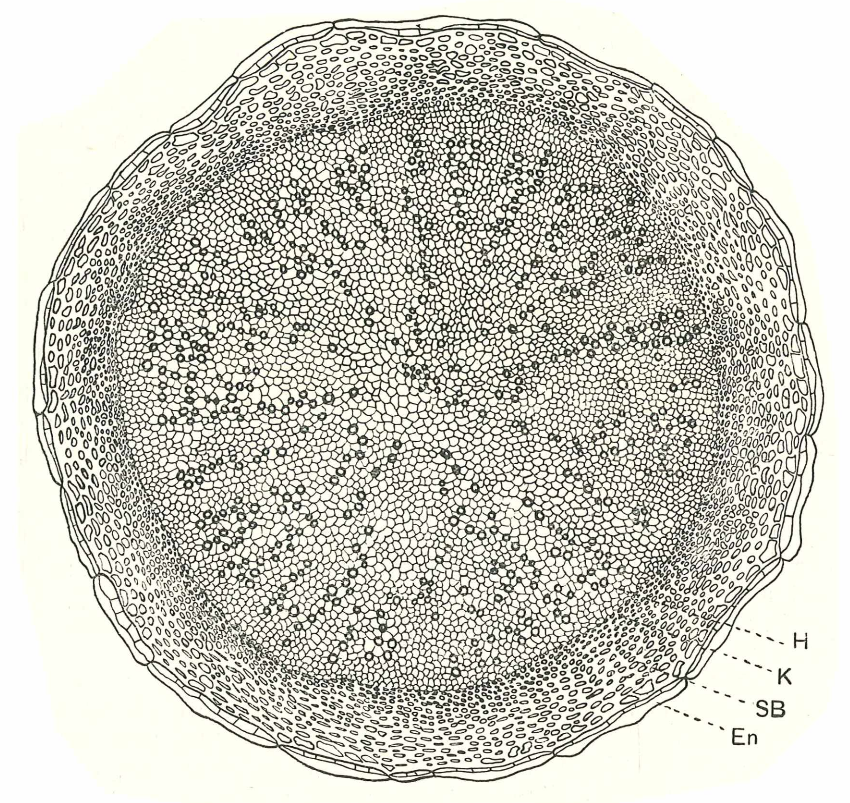


Abb. 9. *Androsace alpina.* Querschnitt durch eine ältere Hauptwurzel. H = Holzkörper, K = Kambium, SB = sekundärer Bast, En = Endodermis

Dickenwachstum unkenntlich. Es entsteht in der bekannten Weise an der Innenseite der Phloemteile ein kambiales Gewebe, das sich mit den vor den Xylemstrahlen liegenden, durch tangentiale Teilungen in den perikambialen Zellen entstandenen Kambiumstreifen zu einem geschlossenen Ring um den Holzteil vereinigt. Dieser Kambiumring erzeugt nun weiterhin nach innen Holz-, nach außen Bastelemente, und diese Vermehrung der Zellen bewirkt einen Druck auf die äußeren Gewebe. Die Zellen des Bastes und die Perikambiumzellen, die später vom Bast nicht mehr zu unterscheiden sind, strecken sich tangential und teilen sich vielfach radial. Ebenso strecken sich auch die Zellen der Endodermis, teilen sich durch

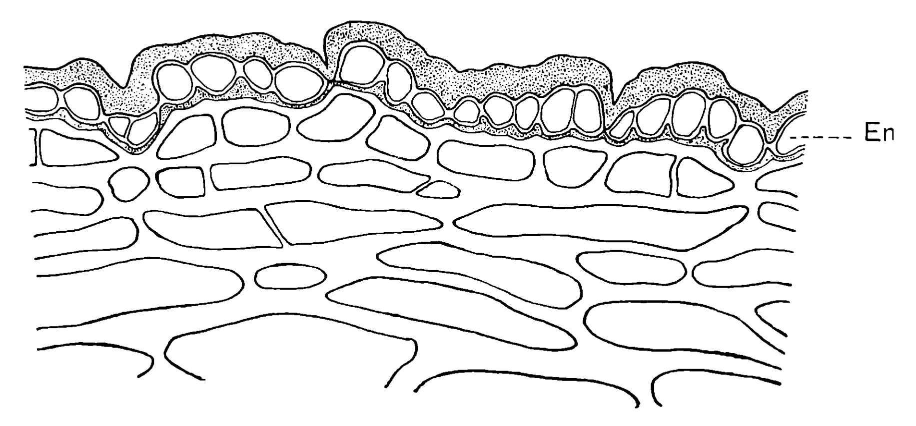


Abb. 10. *Androsace alpina.* Teil eines radialen Wurzellängsschnittes. En = Endodermis. Die punktierten Stellen geben mit Sudan III Rotfärbung.

radiale Scheidewände und bilden, so verändert, schließlich das Abschlußgewebe der Wurzel, da alle außerhalb gelegenen Zellen — der primären Rinde und der Rhizodermis — zusammengedrückt und abgestoßen werden. Diesem Entwicklungsstadium entspricht die in Abb. 8 dargestellte Wurzel; der Querschnitt hat einen Durchmesser von 0,22 mm.

Ein Schnitt durch eine ältere Hauptwurzel mit einem Durchmesser von 1,26 mm ergibt folgendes Bild: Der mächtig entwickelte Holzkörper setzt sich aus den Gefäßen und zahlreichen unverholzten, parenchymatischen Zellen zusammen. Dann folgen nach außen wenige Reihen dünnwandiger Zellen, welche dem Kambiumring entsprechen, der aber in diesem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium nicht mehr deutlich zu erkennen ist. Die Zellen des

sekundären Bastringes sind in ihrer Mehrzahl stark kollenchymatisch verdickt, tangential gestreckt und, besonders an der Peripherie, vielfach durch dünne radiale Wände geteilt. An der äußersten Zellschicht, der Endodermis, kann man noch gut die ursprünglichen Zellen erkennen, doch sind sie nun langgestreckt, tertiär verdickt und durch zahlreiche dünne Radialwände in viele Zellen geteilt. Das Auffallendste an der Endodermis ist ihre ungewöhnlich stark verdickte und mit Sudan III sich rot färbende, also verkorkte oder kutinisierte Außenwand; doch sind, der allseitigen Verkorkung der primären Endodermiszellen entsprechend, auch die Innenwände und die ursprünglichen Radialwände verkorkt, jedoch nicht so mächtig. Abb. 10 gibt dies an einem Längsschnitt wieder.

Androsace Chamaejasme Wulfen em. Host.

Auf dem Raxplateau im Juni 1951 gesammelt. — Der „niedrige Mannsschild" ist eine kalkliebende Rasenpflanze, eine wind- und wetterharte Blattperenne. Nach Hess (1910, S. 141) entwickeln sich aus den Achseln der Rosettenblätter seitliche Ausläufer, so daß eine Rosette zum Zentrum einer reichen strahlenförmigen Verzweigung werden kann. Eine ausgeprägte, kräftige Hauptwurzel wie bei *Androsace alpina* ist nicht vorhanden. Die Wurzeln, die von der zentralen Rosette in dünnen Büscheln nach abwärts gehen, sind verhältnismäßig zart. Hess (l. c., S. 167) reiht dieses Wurzelsystem dem adventiven Saugwurzeltypus der Xerophyten mit feinen Adventivwurzeln und feinen Seitenwurzeln zu.

Eine Wurzel von 0,45 mm Dicke zeigt folgenden Bau: Der zentrale Holzteil setzt sich aus wenigen Gefäßen und dazwischenliegenden unverholzten Parenchymzellen zusammen, der sekundäre Bastring aus stark kollenchymatisch verdickten und tangential gestreckten Zellen. Den Abschluß bildet die Endodermis; ihre Zellen sind an allen Wänden gleich stark verkorkt, innerhalb der Korkschicht gleichmäßig tertiär verdickt und in nahezu jeder Zelle durch eine dünne radiale Scheidewand geteilt. Reste der primären Rinde waren nur an manchen jüngeren Wurzeln vorhanden.

Androsace lactea L.

Im Juni zwischen Kalkfelsen auf der Rax gesammelt. — Der „milchweiße Mannsschild" bewohnt Kalkfelsen der subalpin-alpinen Stufe, geht gelegentlich aber auch ins Geröll und in Rasen über. Auch hier ist keine richtige Hauptwurzel zu erkennen, sondern nur zahlreiche zarte Wurzeln, die von den Rosetten ausgehen.

An einer ganz jungen Wurzel von 0,1 mm Dicke sieht man noch den vollständigen primären Wurzelbau mit einer haarlosen Rhizo-

dermis, einer dünnwandigen Exodermis, mit nur einer großlumigen Rindenzellschicht zwischen letzterer und der ebenfalls dünnwandigen, aus acht Zellen bestehenden Endodermis und einem Zentralzylinder, in dem innerhalb des Perikambiums nur drei Gefäße, von unverdickten Parenchymzellen umgeben, liegen.

An einer Wurzel, welche einen Durchmesser von 0,37 mm hat, ist die primäre Rinde bis auf geringe dunkle Reste schon abgestoßen, und den Abschluß der Wurzel bildet die Endodermis, deren ursprüngliche, ringsum stark verkorkte und an der Außenwand wahrscheinlich auch kutinisierte Zellen schwach tertiär verdickt und durch 2—3 Radialwände geteilt sind. Die darunterliegenden Zellen des sekundären Bastringes sind kollenchymatisch verdickt und in tangentialer Richtung gestreckt. Sie schließen den Holzkörper ein, dessen Gefäße nicht sehr zahlreich sind und in dünnwandigen Parenchymzellen eingebettet liegen.

Kamieński (1878) streift die Wurzeln einiger *Androsace*-Arten nur kurz; er betont ihre Ähnlichkeit mit der Wurzel von *Primula sinensis*, von der er (l. c., Tafel I) eine Abbildung gibt. Sie entspricht im wesentlichen obiger Beschreibung. Bei Decrock (1901) finden wir die Beschreibung einer Hauptwurzel von *Androsace maxima* L. und einer Seitenwurzel von *Androsace villosa* L. Auch die Wurzeln dieser Arten weichen in ihrem Bau nicht viel von den hier angeführten ab. Es scheint somit die Ansicht Kamieńskis (1878, S. 37) bestätigt, der eine große Einförmigkeit im Bau dieser Primulaceen-Gattung feststellte.

Bei den Soldanella-Arten ist die Bewurzelung wie bei den Primeln wieder homorrhiz, doch ist der schief aufsteigende oder kriechende Wurzelstock meist viel schwächer, und auch die Beiwurzeln sind zarter. Die Wurzeln von *Soldanella pusilla* Baumg. und *Soldanella alpina L.* wurden geschnitten.

Soldanella pusilla Baumg.

Gesammelt im August 1949 in einem Schneetälchen am Aufstieg zu den Maroiköpfen. — Die „zierliche Soldanelle“ ist eine kalkfeindliche, schneeschutzbedürftige, hochalpine Rasenpflanze, insbesondere auf Schneetälchen.

Der Wurzelquerschnitt von 0,56 mm Durchmesser hat primären Bau. Die Rhizodermis besitzt keine Haare, ihre Zellwände sind bräunlichgelb und besonders an den Außenwänden verdickt. Noch stärker, doch an allen Wänden gleichmäßig verdickt und allseits verkorkt sind die Zellen der Exodermis. Ein Längsschnitt be-

stätigt, daß auch hier wieder eine Kurzzellenexodermis vorliegt. Die Rindenzellen enthalten viel Stärke, ihre Zellwände sind mäßig verdickt, stärker verdickt sind die Endodermiszellen. Im Zentralzylinder liegen die Gefäße in drei Gruppen angeordnet, die übrigen Zellen des Zentralzylinders sind zartwandig.

An einer jungen Wurzel von nur 0,17 mm Durchmesser sieht man außen die braunwandige Rhizodermis, deren äußere Zellwände größtenteils eingesunken sind. Wurzelhaare fehlen. Die Zellen der Exodermis haben annähernd dieselbe Größe, sie sind noch unverdickt. Ebenso ist die Endodermis noch nicht verdickt, doch sind beide Zellschichten verkorkt. Zwischen Exodermis und Endodermis liegt nur eine Reihe großer Rindenzellen, welche an die Endodermis mit viereckigen Interzellularen, an die Exodermis ohne solche anschließt. Das Gefäßbündel setzt sich aus zwei Gefäßen und ganz wenigen Bastelementen zusammen.

Ein etwas weiter basalwärts geführter Schnitt derselben Wurzel (0,22 mm Durchmesser) zeigt bei unverändert gebliebener, braunwandiger und haarloser Rhizodermis die Zellen der Exodermis und Endodermis schon auffallend stark verdickt. Die Rinde besteht aus 2—3 Reihen dünnwandiger, mit Stärke gefüllter Zellen. Im Zentralzylinder haben sich die Holz- und Bastelemente natürlich mit zunehmender Größe vermehrt.

Soldanella alpina L.

Im Juli 1951 auf feuchter Erde in der Nähe eines Baches bei der Johannishütte gesammelt. — Das „gemeine Alpenglöckchen" ist boden- und gesellschaftsvag, feuchtigkeitsliebend und schneeschutzbedürftig. Der etwas knotige Wurzelstock geht schräg nach abwärts, die Wurzeln sind zahlreich und, der Gesamtgröße der Pflanze entsprecheud, länger und kräftiger als bei *Soldanella pusilla*. Ebenso unterscheiden sie sich im anatomischen Bau hauptsächlich durch die verschiedene Größe voneinander.

Der Durchmesser der Wurzel beträgt 1 mm. Die Rhizodermis hat gelbliche Zellwände, die sich mit Sudan III schwach färben — nach Decrock (1901, S. 128) sind sie leicht verholzt — und außen etwas verdickt sind. Die Zellen der Exodermis haben annähernd die gleiche Größe, sie sind verkorkt und weisen gleichmäßige oder an der inneren Tangentialwand stärkere Verdickungen auf. Auch hier liegen vereinzelt Kurzzellen zwischen den Langzellen, doch ohne besondere Kappenbildung. Die 10 Rindenzellreihen sind leicht verdickt, ihre innersten Reihen radial-konzentrisch angeordnet. Wieder stärker, jedoch gleichmäßig verdickte Zellwände hat die Endodermis; sie umschließt den Zentralzylinder, der aus einem

fünf- bis sechsstrahligen Gefäßbündel und dünnwandigen Markzellen gebildet wird. Kamieński (1878), der außer *Soldanella alpina* auch *Soldanella montana* untersucht hat, verweist bei der Beschreibung des Wurzelbaues auf die Übereinstimmung beider Arten mit dem von *Primula elatior*.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse wird erst in einer späteren Mitteilung nach Beschreibung weiterer Familien gegeben werden.

Literaturverzeichnis.

Bary, A. de, 1877: Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne. Handb. d. physiol. Botanik von W. Hofmeister, 3. Leipzig.

Bonnier, G., 1895: Recherches expérimentales sur l'adaptation des plantes au climat alpin. Ann. Sc. Nat., Sér. 7, Bot. **20**, 217.

Costantin, J., 1885: Recherches sur l'influence qu'exerce le milieu sur la structure des racines. Ann. Sc. Nat., Sér. 7, Bot. **1**, 135.

Decrock, E., 1901: Anatomie des Primulacées. Ann. Sc. Nat., Sér. 8, Bot. **13**, 1.

Diels, L., 1918: Über Wurzelkork bei Pflanzen stark erwärmter Böden. Flora, N. F. **11/12**, 490.

Faber, F. C. v., 1925: Untersuchungen über die Physiologie javanischer Solfataren-Pflanzen. Flora, N. F. **18/19**, 89.

Franke, A., 1927: Zur Kenntnis der Exodermis der Asclepiadaceen. Planta **3**, 1.

Freidenfelt, T., 1902: Studien über die Wurzeln krautiger Pflanzen. I. Über die Formbildung der Wurzel vom biologischen Gesichtspunkte. Flora **91**, 115.

1904: Der anatomische Bau der Wurzel in seinem Zusammenhange mit dem Wassergehalt des Bodens. (Studien über die Wurzeln krautiger Pflanzen II.) Bibliotheca Botanica, H. 61.

Goebel, K., 1930: Organographie der Pflanzen. 3. Aufl., Bd. 2, Jena.

Guttenberg, H. v., 1940: Der primäre Bau der Angiospermenwurzel. Handb. d. Pflanzenanatomie, II. Abt., 3. Teil, Bd. 8. Berlin.

— 1943: Die physiologischen Scheiden. Handb. d. Pflanzenanatomie, I. Abt., 2. Teil, Bd. 5. Berlin.

Hackel, E., 1868: Die Vegetationsverhältnisse von Mallnitz in Kärnten. Verhandlungen d. zool. bot. Ges. **18**, 931.

Hegi, G., 1908—1931: Illustrierte Flora von Mitteleuropa. München.

Hess, E., 1910: Über die Wuchsformen der alpinen Geröllpflanzen. Beih. z. Bot. Centralbl. **27**, 1, II. Abt.

Höhnel, Fr. v., 1877: Über den Kork und verkorkte Gewebe überhaupt. Sitzber. d. Kais. Akad. Wiss. Wien, math.-nat. Kl. **76**, 507, Abt. I.

Jenny-Lips, H., 1930: Vegetationsbedingungen und Pflanzengesellschaften auf Felsschutt. Phytosoziologische Untersuchungen in den Glarner Alpen. Beih. z. Bot. Centralbl. **46**, II. Abt.

Kamieński, Fr., 1878: Vergleichende Anatomie der Primulaceen. Halle.

Kerner, A., 1869: Die Abhängigkeit der Pflanzengestalt von Klima und Boden. Innsbruck.

Kerner v. Marilaun, A., 1887: Pflanzenleben. I. Leipzig.

Kroemer, K., 1903: Wurzelhaut, Hypodermis und Endodermis der Angiospermenwurzel. Bibliotheca Botanica, H. 59.
Mer, E., 1879/80: Recherches expérimentales sur les conditions de développement des poils radicaux. Compt. rend. Acad. Sc. Paris, **88**.
Metcalfe, C. R. and Chalk, L., 1950: Anatomy of the Dicotyledons. Vol. II. Oxford.
Oettli, M., 1904: Beiträge zur Ökologie der Felsflora. Zürich.
Pax, F. und Knuth, R., 1905: Primulaceae. In: Englers „Pflanzenreich", 22. Heft.
Perseke, K., 1877: Über die Formveränderung der Wurzel in Erde und Wasser. Inaug.-Diss., Leipzig.
Rauh, W., 1937: Die Bildung von Hypocotyl- und Wurzelsprossen und ihre Bedeutung für die Wuchsformen der Pflanzen. Nova acta Leopoldina. N. F. **4**, 395.
Rimbach, A., 1893: Über die Ursache der Zellhautwellung in der Exodermis der Wurzeln. Ber. d. d. bot. Ges. **11**, 94.
— 1929: Die Verbreitung der Wurzelverkürzung im Pflanzenreich. Ber. d. d. bot. Ges. **47**, 22.
Schimper-v. Faber, 1935: Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. 3. Aufl. Jena.
Schroeter, C., 1926: Das Pflanzenleben der Alpen. 2. Aufl. Zürich.
Schwarz, Fr., 1883: Die Wurzelhaare der Pflanzen. Unters. a. d. Botan. Inst. Tübingen **1**.
Schwimmer, J., 1929: Die botanische Erforschung des Arlberggebietes. Festschr. zum 50jähr. Bestehen d. Sektion Ulm des D. u. Ö. A. V. Ulm.
Senn, G., 1922: Untersuchungen über die Physiologie der Alpenpflanzen. Verh. d. Schweiz. Naturf. Ges. Bern. II, 154.
— 1925: Einfluß von Licht und Temperatur in den Alpen auf Physiologie und Anatomie der Pflanzen. Verh. d. klimatolog. Tagung in Davos. S. 143, Basel.
— 1932: Pflanzenphysiologische Probleme des Hochgebirges. Verh. d. Schweiz. Naturf. Ges. Bern II, 294.
Vries H. de, 1880: Über die Contraction der Wurzeln. Landw. Jahrb. Bd. IX, 37.
Weber, H., 1937: Vergleichend-morphologische Studien über die sproßbürtige Bewurzelung. Nova acta Leopoldina, N. F. **4**, 227.
Wetter, E., 1918: Ökologie der Felsflora kalkarmer Gesteine. Jahrb. d. St. Gallischen Naturwiss. Ges. St. Gallen.
Widmer, E., 1891: Die europäischen Arten der Gattung Primula. München und Leipzig.